

Збризький В. В., Лиходєєв О. С.

ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ ВІД БАРОМЕТРИЧНОГО ТА СУПУТНИКОВОГО ВИСОТОМІРІВ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

Анотація. Доповідь присвячене підвищенню точності стабілізації барометричної висоти в системі автоматичного керування повітряного судна. Для подолання недоліків окремих сенсорів (похибки барометричного висотоміра, зумовлені змінами атмосферних умов, та випадкові неточності та затримки GPS-висотоміра) запропоновано метод інтеграції їхніх показань із застосуванням фільтра Калмана. Розроблено математичну модель системи в середовищі MATLAB/Simulink, яка включає моделі сенсорів, фільтр Калмана для оптимального оцінювання висоти та ПІД-регулятор. Робота доводить ефективність запропонованого підходу для використання в сучасних авіаційних системах, зокрема для БПЛА та легких літаків.

Ключові слова: автоматичне керування, барометрична висота, GPS-висотомір, фільтр Калмана, стабілізація, повітряне судно.

Abstract: This report is focused on improving the accuracy of barometric altitude stabilization in aircraft automatic control systems. To overcome the limitations of individual sensors (errors of the barometric altimeter due to changing atmospheric conditions, and random inaccuracies and delays of the GPS altimeter), a data integration method using a Kalman filter is proposed. A mathematical model of the system was developed in the MATLAB/Simulink environment, which includes sensor models, a Kalman filter for optimal altitude estimation, and a PID controller. The work proves the effectiveness of the proposed approach for use in modern aviation systems, particularly for UAVs and light aircraft.

Keywords: automatic control, barometric altitude, GPS altimeter, Kalman filter, stabilization, aircraft.

Забезпечення стабільного та точного утримання барометричної висоти є однією з ключових задач систем автоматичного керування повітряними суднами. Точність вимірювання висоти безпосередньо впливає на безпеку польоту, ефективність витрат палива та якість виконання польотних завдань [1].

Традиційні системи керування висотою базуються переважно на даних барометричного висотоміра, однак останній має суттєву похибку, зумовлену змінами атмосферного тиску, температури та локальними збуреннями. З іншого боку, супутникові системи (GPS/GNSS) надають незалежні дані про висоту, але мають власні недоліки – затримки сигналу, неточності при маневрах і втрати сигналу в певних умовах [2].

Отже, актуальним є завдання інтеграції показань барометричних та супутникових висотомірів для підвищення точності й надійності автоматичного керування на режимах стабілізації висоти польоту.

Метою роботи є підвищення точності стабілізації барометричної висоти повітряного судна шляхом розробки алгоритму інтеграції даних від барометричного та супутникового висотомірів із використанням фільтра Калмана.

Для досягнення мети виконано такі завдання:

1. Проаналізовано похибки барометричних і GPS-вимірювань висоти.
2. Розроблено математичну модель об'єднання даних з двох сенсорів.
3. Застосовано фільтр Калмана для зменшення шумів і збурень у вимірювальних сигналах.
4. Проведено комп'ютерне моделювання процесу стабілізації висоти в умовах атмосферних збурень.

5. Оцінено ефективність інтегрованого підходу порівняно з традиційними методами.

Дослідження проводилось шляхом математичного моделювання системи автоматичного керування повітряного судна у середовищі MATLAB/Simulink [3].

Модель включала такі основні блоки:

– Барометричний висотомір, похибка якого моделювалася за залежністю від зміни атмосферного тиску та температури (± 20 м).

– GPS-висотомір, похибка якого мала випадковий характер (± 15 м) і була зумовлена неточністю супутникової навігації.

– Фільтр Калмана, який виконував оптимальну оцінку істинного значення висоти на основі двох джерел даних з урахуванням їх статистичних характеристик.

– ПД-регулятор стабілізації висоти, що отримував на вхід згладжене значення висоти та формував керуючі впливи на виконавчі органи.

Для оцінки ефективності використовувались критерії: середньоквадратична похибка стабілізації, час виходу на задану висоту та чутливість до зовнішніх збурень.

Результати моделювання показали, що інтеграція показань барометричного та GPS-висотомірів із використанням фільтра Калмана дозволяє значно підвищити якість стабілізації висоти.

Таблиця 1 – Порівняльні результати досліджень

Тип системи	Середньоквадратична похибка, м	Час стабілізації, с	Вплив збурень
Барометричний висотомір	12,4	14,2	Високий
GPS-висотомір	10,9	15,0	Середній
Інтегрований (фільтр Калмана)	5,6	10,3	Низький

Запропонований метод інтеграції даних барометричного та супутникового висотомірів із застосуванням фільтра Калмана забезпечує підвищення точності та надійності системи стабілізації висоти повітряного судна.

Розроблений алгоритм знижує вплив шумів і збурень на вимірювальні сигнали, покращує стійкість системи та скорочує час стабілізації.

Результати моделювання підтверджують доцільність використання інтегрованих сенсорних систем у сучасних авіаційних автопілотах, особливо для малих безпілотних літальних апаратів і легких літаків.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на реалізацію алгоритму в реальному обладнанні з урахуванням затримок сигналів та нестационарності атмосфери.

Список використаних джерел:

1. Stevens, B. L., & Lewis, F. L. Aircraft Control and Simulation. – John Wiley & Sons, 2016.
2. Grewal, M. S., Weill, L. R., & Andrews, A. P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. – John Wiley & Sons, 2007. <https://doi.org/10.1002/0470099720>.
3. Brown, R. G., & Hwang, P. Y. C. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering with MATLAB Exercises. – John Wiley & Sons, 2012.

Лиходєєв Олександр Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0009-9509-2940>.

Збриський Владислав Вікторович – здобувач освітнього рівня магістр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: vladzbr7@gmail.com.

Lykhodiev Oleksandr Serhiiovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Aviation Engineering Faculty, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0009-9509-2940>.

Zbryzky Vladyslav Viktorovich – Master's Degree Student of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: vladzbr7@gmail.com.